

補助事業番号 27-113

補助事業名 平成27年度 薄肉複雑形状をもつ軽量金属中空構造部品の高度温間液圧成形プロセス開発 補助事業

補助事業者名 首都大学東京 真鍋 健一

1 研究の概要

輸送機器のさらなる軽量化のため軽量中空構造部材の一体成形加工技術が進展している。そのため薄肉の高強度軽量金属に対し、液圧利用による複雑構造一体成形が可能なチューブハイドロフォーミング技術への期待が高まっている。本研究では、難成形軽量金属であるアルミニウムおよびマグネシウム合金の薄肉管を用い、複雑一体成形の代表例としてT字およびY字接手成形を取り上げ、その成形過程で最も重要な負荷経路をリアルタイム適応制御する高度成形技術の開発を行った。

2 研究の目的と背景

近年、地球環境問題によるCO₂排出削減の動きの中で、自動車等の輸送機器は軽量化と衝突安全性の両立が強く求められている。それを満たす解決策として、チューブフォーミング技術が注目され、実製品にも多く適用されている。しかし最大の技術課題は負荷経路の決定であり、CAEや最適化が発達している現在でも経験の世界といっても過言ではない。複雑形状成形の場合にはさらに困難が伴う。さらにより軽量効果を出すための薄肉軽量金属管を用いる最大の課題は常温での低い成形性であり、これら課題克服が大きな課題である。

上記の課題解決の方法として、軽量効果の高い軽量金属のアルミニウムやマグネシウム合金管を用いたより薄肉で複雑な形状のチューブハイドロフォーミング技術を開発することである。その中で、より困難となっている時々刻々の負荷経路を実装置システムのなかで最適制御する技術開発を実現する

上記の課題解決の方法として、難成形性材料の軽量金属を成形性が改善する温間での成形を実施し、しかも時々刻々の最適経路を探索する例えばファジィプロセス制御を開発することである。本研究ではより軽量効果の高い軽量金属のアルミニウムやマグネシウム合金管を用いた複雑形状の枝張り出し成形の適正負荷経路を適応制御するチューブハイドロフォーミングシステムを開発することである。

3 研究内容

(1) 新ファジィ適応制御アルゴリズムの開発と評価
(<http://www.comp.tmu.ac.jp/production/>)

Y字継手のチューブハイドロフォーミングでは、形状の非対称性から左と右の軸押しを独立して制御する必要がある、これまで左右対称で行われていたT字継手のチューブハイドロ

フォーミングの軸押しの制御とは異なるファジィ適応制御アルゴリズムを開発する必要がある。ここでは左右非対称形状のY字継手のチューブ hidroフォーミング解析を行い、新たなファジィ適応制御アルゴリズムを開発するための成形中の基礎的な変形挙動を体系的に調査し、新たな評価関数（図1）を提案することで新ファジィ適応制御アルゴリズムの開発を行った。

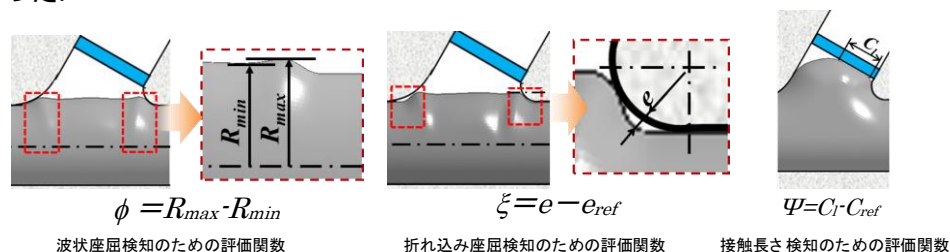


図1 提案した新たな評価関数

(2) センサー内蔵耐熱金型システムの開発 (<http://www.comp.tmu.ac.jp/production/>)

提案したインプロセス知能化制御アルゴリズムを実機に導入するために、評価関数をリアルタイムに計測することは不可欠である。型離れの評価関数を測定するために、小型かつ精度の高い新しい金型内蔵変位センサーを開発した。また、枝管頭部の型なじみ度の評価関数を得るために、接触長さを測定できる金型内蔵接触センサーを新たに開発した（図2）。

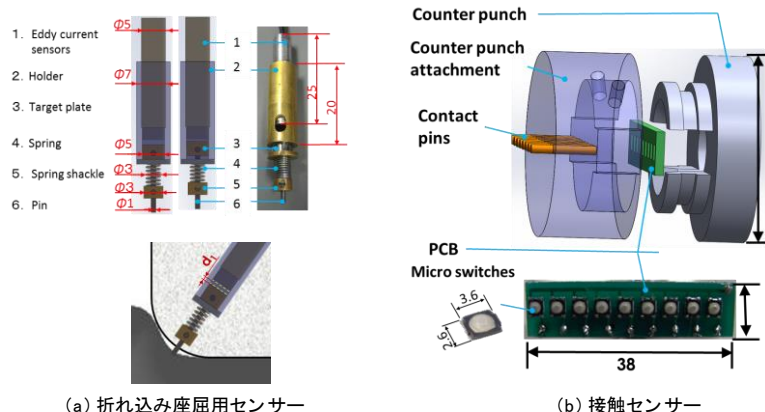


図2 開発した金型内蔵センサー

(3) 開発した装置による室温および温間域での THF 成形の検証実験 (<http://www.comp.tmu.ac.jp/production/>)

実際に開発した金型内蔵センサーを組み込んだチューブ hidroフォーミングの成形システムを開発した（図3）。まずは室温において、軸押込み量が左右で適切に制御され、適切な材料流動が来ているか検証した。さらに材料、潤滑条件等の成形プロセス条件が変わっても、それに適応して適切に制御できるかを検証した。材種、寸法の異なるアルミニウム合金、ステンレス、マグネシウム合金の管材をそれぞれ用いて材料、寸法に関する解析的・実験的な検討を行った。その結果、材料や寸法が異なっても本研究で提唱したリアルタイム適応制御が有効に働き、最適な加工パスを導出することに成功した（図4）。また変形抵抗の温度依存性が大きいマグネシウム合金管については温度の影響に関して検討を行い、解析的に

は本手法の有効性を示すことができた。実験的な妥当性の検証については、センサー等の性能に関してまだ不十分なところがあり、今後、さらなる検討が必要であることがわかった。

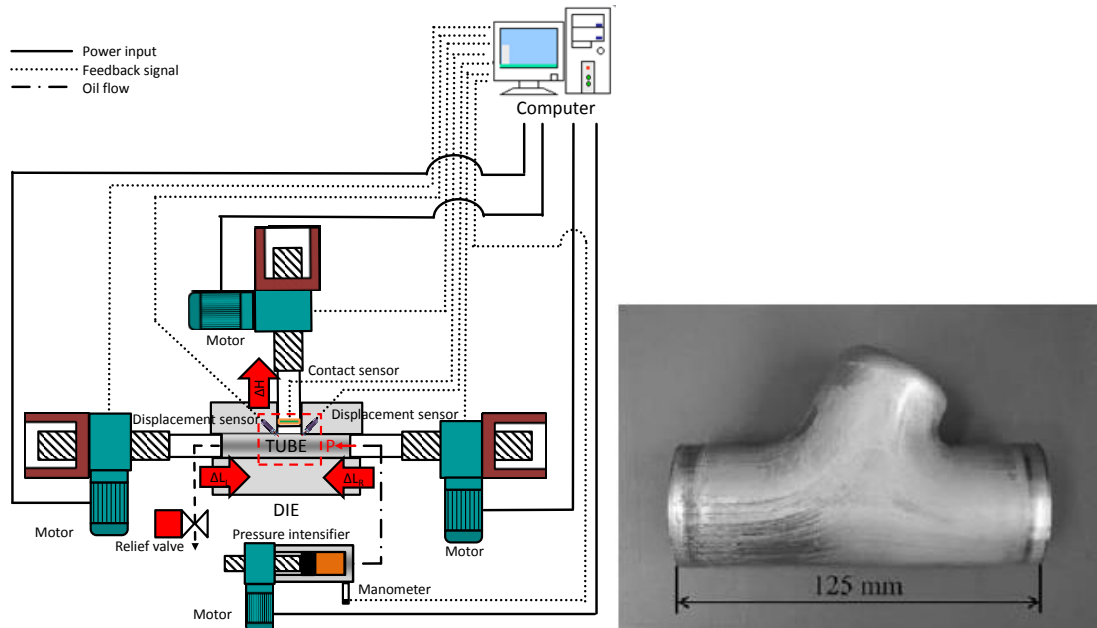


図3 開発したリアルタイム適応制御チューブ hidroフォーミング成形システムと成形したY字継手

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究によって提唱したチューブ hidroフォーミング技術のリアルタイム適応制御システムは、成形しながら最適な加工パスを時々刻々、導出することができ、従来、試行錯誤的に決める必要がなくなり、チューブ hidroフォーミングの工程設計期間を大幅に短縮することができることが期待できる。またこれらの技術によって高強度軽量金属の軽量中空構造部材の一体成形加工技術の開発を大きく進展させることができ、自動車をはじめとする輸送機器のさらなる高剛性化・軽量化を達成することができ、実社会に与えるインパクトは大きいと考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は、これまでに板材のプレス成形における成形性向上のための適応制御プロセスの開発に始まり、最近では、管材のチューブ hidroフォーミングについても適応制御プロセスに取り組んでいる。これまではシミュレーションの中での適応制御プロセスによって導出した最適加工パスを実機に導入して有効性を確かめてきた。しかしながら、多様な材料や寸法への対応、また加工中の金型内の潤滑特性の変動、あるいはさらなる難加工性材料への適応を考えた際にはシミュレーションによる最適加工パスの導出には限界があることがわかった。これに対し、今回の研究の位置づけは、実際に金型内の材料の変形挙動を、金型内蔵センサーを用いて材料の状態をリアルタイムに把握し、それを基に時々刻々の最低な加工パスを導出するシミュレーションに依存しない手法を開発するものである。さらに成形性を上げるた

め室温だけでなく温間域での成形も視野に入れた研究となっている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

<国内発表>

(1) 平成27年10月29日～31日（いわき市）日本塑性加工学会第66回塑性加工連合講演会にて「金型内蔵センサーを用いたリアルタイムファジィ適応制御によるY成形」講演論文発表，日本塑性加工学会第66回塑性加工連合講演会講演論文集 (p401-402)

(2) 平成28年5月20日～22日（京都市）日本塑性加工学会平成28年度塑性加工春季講演会にて「チューブハイドロフォーミングにおける十字形面接触センサーを用いたファジィプロセス制御」講演論文発表，日本塑性加工学会平成28年度塑性加工春季講演会講演論文集 (p163-164)

<国際会議発表>

(3) 平成28年11月8日～11日（マレーシア）Advances in Materials & Processing Technologies Conference (AMPT2016)にて「In-process Controlled Y-shape Tube Hydroforming with High Accurate Built-in Sensors」講演発表，Advances in Materials & Processing Technologies Conference (AMPT2016) ABSTRACT & PROGRAMME BOOK (p163)

<査読付英論文発表>

(4) T. Nakamori, K. Shukuno, K. Manabe: In-process Controlled Y-shape Tube Hydroforming with High Accurate Built-in Sensors, Procedia Engineering, Vol. 184 (2017), pp. 43-49

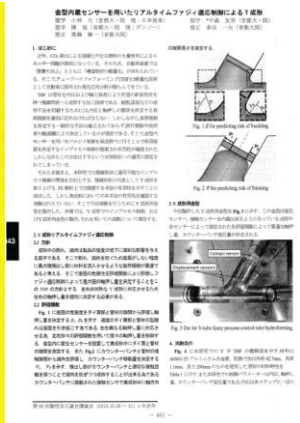
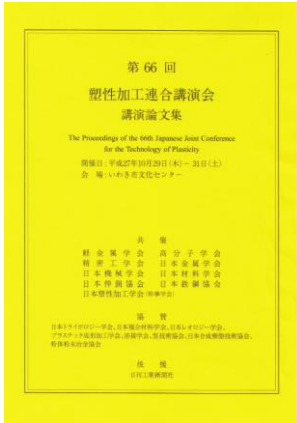
7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの
なし。

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

国内会議発表

「金型内蔵センサーを用いたリアルタイムファジィ適応制御によるY成形」講演論文発表, 日本塑性加工学会第66回塑性加工連合講演会講演論文集 (p401-402)



国内会議発表

「チューブハイドロフォーミングにおける十字形面接触センサーを用いたファジィプロセス制御」講演論文発表, 日本塑性加工学会平成28年度塑性加工春季講演会講演論文集 (p163-164)



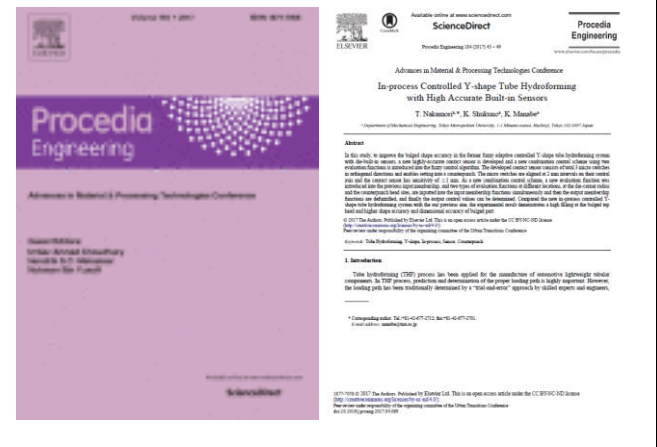
国際会議発表

「In-process Controlled Y-shape Tube Hydroforming with High Accurate Built-in Sensors」講演発表, Advances in Materials & Processing Technologies Conference (AMPT2016) ABSTRACT & PROGRAMME BOOK (p163)



審査付英論文

T. Nakamori, K. Shukuno, K. Manabe: In-process Controlled Y-shape Tube Hydroforming with High Accurate Built-in Sensors, Procedia Engineering, Vol. 184 (2017), pp. 43-49
(<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.069>)



8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 首都大学東京大学院

(シュトダイガクトウキョウダイガクイン)

住所： 〒192-0397

東京都八王子市南大沢1-1

申請者： 名誉教授 真鍋 健一 (マナベ ケンイチ)

担当部署： 真鍋研究室 (マナベケンキュウシツ)

E-mail: manabe@tmu.ac.jp

URL: <http://www.comp.tmu.ac.jp/production/>